ZUR RECHNERGESTÜTZTEN DIAGNOSE AUF ELEKTROLOKOMOTIVEN UND ZUR ERFASSUNG VON ZUGPARAMETERN

Doz. Dr. SHEKO BILDIREW, Sofia und
Mat. ELENA POPOWA, Sofia/VR BULGARIEN

Die immer steigenden Forderungen an eine Reihe von Betriebsparametern des Eisenbahntransports erfordern die Entwicklung schnellwirkender und genauer Methoden zur Bestimmung einiger wichtigen Parameter des Systems "Wagenzug - Gleis".
Interessante Möglichkeiten in Informationshinsicht bietet die Grundgleichung der Bewegung an:

$$F_T - F_c = ma \,, \qquad (1)$$

wo F_T die Zugkraft ist, die von der Lokomotive aufgebracht wird,
F_c die Summenwiderstandskraft,
m die Masse des Zuges, und
$a = \frac{dV}{dt}$ die Beschleunigung des Zuges.

Als beobachtbare Größen, die einfach kontrollierbar sind, können die Beschleunigung und die Beschleunigungszugkraft betrachtet werden, dank des eindeutigen Zusammenhangs zwischen der Fahrgeschwindigkeit und der Zugkraft, ausgedrückt in der Zugkraftkennlinie der Lokomotive bei einer bestimmten Position des Regelorgans.
Anders gesagt, ermöglicht die Kontrolle der Fahrgeschwindigkeit die Bestimmung sowie der Zugkraft, als auch der Beschleunigung, selbstverständlich bei einer guten Kohäsion der Räder mit dem Gleis auf der Prüfstrecke.
Die Gleichung (1) kann in folgender Form dargestellt werden:

$$m.a + F_c = F_T \,, \qquad (3)$$

d.h. in der Gleichung gibt es zwei unbekannte Parameter - m und F_c .
Mit Hilfe von drei Messungen der Geschwindigkeit in einem ausreichend kurzem Intervall Δt, während dessen die Unbekannten unverändert bleiben, erhalten wirdas von uns benötigte System aus zwei Gleichungen:

$$\begin{cases} a_1 . m + F_c = F_{T1} \\ a_2 . m + F_c = F_{T2} \end{cases} \qquad (4)$$

Die Differenz der beiden Gleichungen ergibt folgende Formel für den Wert der Zugmasse:

$$m = \frac{F_{T1} - F_{T2}}{a_1 - a_2} \qquad (5)$$

Für die Widerstandskraft bekommt man jeweils:

$$F_c = \frac{a_1 F_{T2} - a_2 F_{T1}}{a_1 - a_2} \qquad (6)$$

Zur Bestimmung der Masse und der Widerstandskraft des Zuges nach den Formeln (5) und (6) ist erforderlich und ausreichend, die Beschleunigungen und die Zugkräfte a_i und F_{Ti} (i= =1,2) in zwei aufeinanderfolgenden Zeitpunkten, die sich um Δt unterscheiden, zu kennen. Die Zugkräfte F_{T1} und F_{T2} , die den rechten Teilen von (4) entsprechen, werden durch Interpolationsprozedur einer genug niedrigen Reihe bestimmt. So zum Beispiel wird für eine Lokomotive Serie 43 im Geschwindigkeitsbereich von 3 bis 8 km/h die Zugkraftkennlinie für die 8. Position des Regelorgans mit einer linearen Bindung interpoliert:

$$F_T = k_0 - k_1 V \qquad (7)$$

wo F_T die Zugkraft in N ist,
V die Geschwindigkeit in $m.s^{-1}$,
k_0 = 265000 N - die Anlaufzugkraft,
k_1 = 49320 $N.s.m^{-1}$ - Kennlinienneigungsfaktor

Wenn nach dem ersten Versuch in Beschleunigungsfahrweise, nach dem m und F_c bereits bekannt sind, der Zug zum Bremsen mit eingeschalteter Bremsanlage und ausgeschalteter

Zugkraft übergeht, wird die Bewegungsgleichung wie folgt sein:

$$F_c + F_{cn} = m.a_{cn} \qquad (8)$$

wonach durch zwei aufeinanderfolgende Geschwindigkeitsmessungen die negative Beschleunigung und die tatsächliche Bremskraft F_{cn} berechnet wird, was die Möglichkeit schafft, den Zustand der Bremsanlage des Zuges nach folgender Formel zu analysieren:

$$F_{cn} = m.a_{cn} - F_c \qquad (9)$$

Während des Betriebes beginnen die tatsächlichen Zugkraftkennlinien einer Lokomotive sich von den Kennlinien aus dem technischen Paß infolge des Verschleißes des mechanischen Teils, Änderung der Parameter des Traktionsmotors u.ä. zu unterscheiden. Zu diesen Abweichungen, die einen relativ stabilen, "systematischen" Charakter aufweisen, können immer auch rein zufällige Abweichungen hinzugefügt werden, wie z.B. Spannungsschwankungen in der Fahrleitungsanlage. Damit die Genauigkeit der Methode sichergestellt wird, ist auch die Spannung in der Fahrleitungsanlage zu kontrollieren, so daß der Eichfaktor bekannt wird:

$$\gamma = \frac{U}{U_H} \qquad (10)$$

wo U und Uk jeweils der laufende und der Nominalwert der Spannung in der Fahrleitungsanlage sind.

Was die systematischen Anteile in der Abweichung der tatsächlichen Zugkraftkennlinien von den Paßzugkraftkennlinien betrifft, müssen diese periodisch über Eichprozeduren erfaßt werden.

Die zu untersuchende Lokomotive wird auf einer Waage zwecks genauer Messung ihrer Masse abgestellt. Nachdem diese bekannt ist, wird die Lokomotive auf einem geradlinigen horizontalen Gleis gefahren.

Die Beschleunigungsfahrweise wird in diesem Fall mit der Bewegungsgleichung

$$F_T - F_c = m a_y \qquad (11)$$

dargestellt.

Beim Erreichen der Geschwindigkeit Vo, die dem Arbeitsbereich der Methode - ca. 5 km/h, entspricht, erfolgen zwei aufeinanderfolgende Geschwindigkeitsmessungen in einem Zeitabstand Δt = 0,001 s und werden zwei Beschleunigungen a_{1y} und a_{2y} erfaßt.

Die Zugkraft der Lokomotive wird ausgeschalten und diese beginnt nach dem Trägheitsgesetz zu fahren. Dabei weist die Fahrt eine negative Beschleunigung auf, da die Bewegungsgleichung in diesem Fall wie folgt ist:

$$- F_c = m a_{cn} \qquad (12)$$

Der Rechner in der Lokführerkabine kontrolliert das Erreichen in umgekehrter Reihenfolge der Geschwindigkeiten V2, V1 und Vo, bei denen die Beschleunigungen bestimmt worden sind, indem er die Zeitintervalle für deren Erreichen Δt_2 und Δt_1 aufschreibt. Dies ermöglicht die Bestimmung folgender negativen Beschleunigungen:

$$a_{2cn} = \frac{V_1 - V_2}{\Delta t_2} \quad \text{und} \quad a_{1cn} = \frac{V_0 - V_1}{\Delta t_1} \qquad (13)$$

die den Geschwindigkeiten V2 bzw. V1 entsprechen.

Mit Rücksicht auf das kleine Interval zwischen den einzelnen Messungen und den niedrigen Wert der Geschwindigkeiten, wird die Widerstandskraft F_c praktisch gleich sein für die Fälle von Beschleunigung und Beharrungsfahrt, die Messungen für welche bei einer und derselben Geschwindigkeit und in einem Abstand nicht größer als 1 m erfolgen.

Wenn die Gleichug (12) von der Gleichung (11) abgezogen wird, wird für eine und dieselbe Geschwindigkeit die Widerstandskraft F_c in der neuen Gleichung

$$F_{T1} = m (a_{1y} - a_{1cn}), \qquad (14)$$

die einer Geschwindigkeit V1 entspricht,und

$$F_{T2} = m (a_{2y} - a_{2cn}), \qquad (15)$$

die einer Geschwindigkeit V2 entspricht, eliminiert.

Die erhaltenen zwei Wertepaare der tatsächlichen Zugkraft F_{Ti} und die Geschwindigkeit Vi (i=1,2) erlauben, in dem Koordinatensystem der Zugkraftkennlinien die approximierende Linearbindung zwischen der Zugkraft und der Geschwindigkeit (Bild 1) nach For-

mel (7) aufzubauen.
Aus der Ähnlichkeit der jeweiligen Dreiecke auf Bild 1 folgt:

$$K_0 = \frac{F_{T1} \cdot V_2 - F_{T2} \cdot V_1}{V_2 - V_1} \quad (16)$$

$$K_1 = \frac{F_{T1} - F_{T2}}{V_2 - V_1} \quad (17)$$

Mit den Formeln (16) und (17) endet die Bestimmung der tatsächlichen Anlaufzugkraft Ko und des Neigungsfaktors der Zugkraftkennlinie K1. Was den Zustand des Fahrwerks betrifft, kann die pauschale Beurteilung entsprechend dem Wert des Bewegungswiderstands erfolgen, der direkt aus (12) berechnet wird.

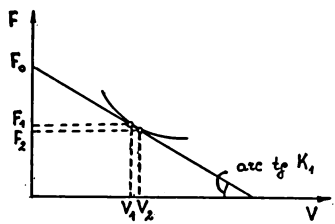

Bild 1

Die beschriebene Methode wurde anhand eines Modellversuchs erprobt. Das Ziel war, die Genauigkeit der Methode und der linearen Interpolationsformel (7) zu überprüfen.
Auf Bild 2 ist die Abhängigkeit zwischen dem Methodefehler und der Periode des Quantisierens dargestellt.

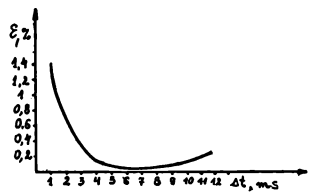

Bild 2

Aus der Analyse auf Bild 2 geht hervor, daß mit der Reduzierung von Δ t der Fehler rapid steigt. Dies wird erklärt mit der Tatsache. daß bei so kleinen Zeitanstiegen die Beschleunigungen und die Geschwindigkeiten bzw. die Zugkräfte sich geringfügig unterscheiden, d.h. beide Gleichungen im System (4) werden linear abhängig. Bei Δ t in der Größenordnung von 0,005-0,006 s ist der Fehler in der Größenordnung von Hundertsteln vom Prozent. Die weitere Verlängerung der Periode des Quantisierens führt zu einem neuen, wenn auch fließender ausgedrückten Fehlerzuwachs. Offensichtlich ist die Erklärung in diesem Fall in der steigenden Ungenauigkeit des Modells infolge des verlängerten Quantisierintervals zu suchen.
Auf Bild 3 ist der Zusammenhang zwischen dem Fehler in Prozenten und der Zugmasse, die dem Modell bei einem Quantisierinterval von 0,01s zugrundegelegt worden ist, dargestellt. Es ist ersichtlich, daß bei einem wesentlichen Massenänderungsbereich von 800 bis 2000 t, der charakteristisch ist für die Personen- und Güterzüge, der Fehler bei der Bestimmung der Masse und der Widerstandskraft 0,5 % nicht überschreitet, d.h. die Methode ist in diesem ganzen Bereich mit einer vollkommen für die Praxis ausreichender Genauigkeit anwendbar.

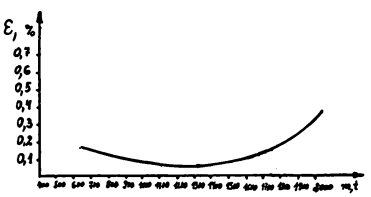

Bild 3

Die Methode wird auf einem Standard-Mikrorechner mit minimaler Kapazität des Dauerspeichers Type ROM 2K und des Operationsspeichers Type RAM 4K realisiert.
Die Anwendung der Methode kann eine Reihe von Fragen beantworten, die mit der Untersuchung der Fahr- und Bremseigenschaften des Zuges und einiger Betriebsparameter des Gleises verbunden sind, sowie von Fragen, verbunden mit Ver- und Entladearbeiten, z.B. Feststellen des Vorhandenseins von "versteckter Ware", einige Optimierungsaufgaben, die eine Reduzierung der Energiekosten beim Transport sichern u.a.
Zur Zeit wird die Methode in das System der Bulgarischen Staatlichen Eisenbahn eingeführt.